



## Technologie d'optique intégrée polymère au laboratoire FOTON

Christiane Carré, Joël Charrier, Mohammed Guendouz, Nathalie Lorrain,  
Loïc Bodiou, Luiz Poffo, Jonathan Lemaitre, Isabelle Hardy, Michel Gadonna,  
Annick Chaillou, et al.

### ► To cite this version:

Christiane Carré, Joël Charrier, Mohammed Guendouz, Nathalie Lorrain, Loïc Bodiou, et al.. Technologie d'optique intégrée polymère au laboratoire FOTON. SFO. 2ème Journées Nationales de Photonique Organique 2014 (JNPO), Sep 2014, Strasbourg, France. , HAL (archives-ouvertes.fr), 2014, Actes des 2ème Journées Nationales de Photonique Organique. hal-01084478

**HAL Id: hal-01084478**

**<https://hal.science/hal-01084478>**

Submitted on 19 Nov 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# TECHNOLOGIE D'OPTIQUE INTEGREE POLYMERE AU LABORATOIRE FOTON

**Christiane Carré, Joël Charrier, Mohamed Guendouz, Nathalie Lorrain, Loïc Bodiou, Luiz Poffo, Jonathan Lemaitre, Isabelle Hardy, Michel Gadonna, Annick Chaillou, Lazhar Haji et Dominique Bosc**

*CNRS, Laboratoire Foton UMR 6082, Equipe Systèmes Photoniques, 6 rue de Kérampont,  
ENSSAT, CS 80518, 22305 Lannion Cedex, France*

*christiane.carre@univ-ubs.fr*

## RÉSUMÉ

Cet article résume le panorama de l'état de l'art des technologies d'optique intégrée polymère maîtrisées au laboratoire Foton (Systèmes Photoniques) et qui sont axées sur des circuits optiques actifs et passifs. Les objectifs sont orientés vers un fort confinement du mode de propagation, la génération d'effets non linéaires, l'hybridation avec d'autres matériaux et la réduction des pertes (couplage et propagation).

**MOTS-CLEFS :** *optique intégrée ; polymère ; capteur ; micro-résonateur.*

## 1. INTRODUCTION

Le laboratoire Foton, au travers du groupe de recherche "Optique Guidée et Capteurs", met au point des technologies d'Optique Intégrée depuis plus de dix ans grâce à sa plate-forme CCLO. L'objectif est de travailler sur la méthodologie de fabrication et les effets physiques indésirables survenant au cours des procédés, de façon à obtenir des fonctions intégrées permettant de démontrer les avantages spécifiques de matériaux autres notamment que le silicium, dans le domaine du traitement du signal optique, principalement pour les télécommunications, et, dans le domaine des capteurs pour la détection et la sélection d'espèces biologiques.

Dans ce contexte, les polymères doivent être considérés comme une famille de matériaux diversifiés plus que comme un seul type de matériaux. La panoplie des matériaux polymères pour l'optique autorise une plage d'indice de réfraction allant couramment de 1,40 à 1,60 à la longueur d'onde télécom de 1,55  $\mu\text{m}$ , tout en présentant des potentialités testées expérimentalement de 1,30 à 1,70, voire plus par utilisation de composites nanoparticules-polymères. Sachant que ce n'est pas le seul critère qui pousse à regarder de près les technologies à base de polymères [1], le développement de l'optique intégrée peut aussi être privilégié :

- dans le cas du traitement du signal optique, avec les contraintes nouvelles sur le haut débit, comme pour l'interconnexion électronique où certaines performances sont relâchées, ou en tout cas différentes de celles des télécoms,
- ou pour les capteurs comme en témoigne l'abondante littérature de circuits polymères pour les capteurs biologiques. En particulier, les micro-résonateurs sont très sensibles à la variation d'indice car, correctement configurés, ils peuvent détecter des variations d'indice de l'ordre de  $10^{-6}$  dans l'état de l'art actuel. En outre, c'est une structure beaucoup plus miniaturisée que les interféromètres classiques et qui, de ce fait, peut plus facilement s'intégrer dans des systèmes lab-on-chip.

Pour ces applications, certains polymères ont des propriétés non linéaires qui les placent au dessus des matériaux inorganiques dont le niveau autorisent des effets tout optique sur de faibles distances (compatibles avec les longueurs de guides en optique intégrée) par exemple, sans compter aussi les effets électro-optiques permettant de la modulation supérieure à 100 GHz [2]. Sur un plan plus technologique, les possibilités de photo-inscription des polymères, par insolation choisie et localisée d'un matériau spécifique induisant une variation d'indice de réfraction suffisante et générant in situ le composant, sont aussi très importantes et se démarquent de celles réalisées sur la

silice par des contrastes d'indice plus importants [3]. Ces dernières technologies peuvent amener, outre leur simplicité, des avantages pour ajuster les post-process de certaines fonctions (par exemple pour les coefficients de couplage entre guides) [4].

## **2. EXEMPLE DE TECHNOLOGIE D'OPTIQUE INTEGREE POLYMERE POUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL TOUT OPTIQUE**

Ainsi, Foton maîtrise entre autres la fabrication de micro-résonateurs en optique intégrée polymère, grâce à des études menées tant du point de vue optique que de la physico-chimie des matériaux considérés. Malgré les avantages potentiels des polymères en optique intégrée (transparence aux longueurs d'onde télécoms, possibilité d'adapter leurs propriétés physico-chimiques par fonctionnalisation des macromolécules, facilité de mise en œuvre, possibilités de dopage), l'essor de cette technologie est encore entravé, par les propriétés mécaniques des composants qui ne sont pas toujours en accord avec les cahiers des charges. Les objectifs sont ici définis en termes de résolution spatiale, de simplicité de mise en œuvre du procédé et de coût, d'amélioration du confinement de la lumière dans les microstructures de par leurs propriétés optiques (indice de réfraction, transparence à la longueur d'onde choisie) et chimiques (compatibilité des matériaux de cœur et de gaine, stabilité dans le temps), ainsi que de la réduction des pertes intrinsèques et extrinsèques des guides [5].

Les matériaux organiques, outre leurs avantages bien connus en matière de mise en œuvre et de coût, présentent un intérêt spécifique du fait de la possibilité de fabriquer directement des objets de taille micro- ou nanométrique et de structurer leurs propriétés. La possibilité d'ajuster la composition chimique des formulations offre un large choix au niveau des propriétés optiques et mécaniques finales, un des objectifs étant de contrôler précisément le gradient d'indice de réfraction à l'interface cœur/gaine, tout en simplifiant le procédé de fabrication. Typiquement des contrastes d'indices de 0,1 imposent des dimensions pour le guide légèrement supérieures au micron, ce qui reste compatible avec l'utilisation de la photolithographie conventionnelle par masquage à 365 nm ou la photo-inscription directe dans le proche UV pour la définition des motifs.

En guise d'exemple, nous illustrons ici un résultat sur les micro-résonateurs pour lesquels nous avons résolu un certain nombre de problèmes liés aux défauts de surfaces (absence de ride), de non adhérence entre les différentes couches et d'incompatibilité chimique, qui peuvent apparaître au cours de la fabrication en polymère. Les polymères ici considérés sont :

- pour matériau de cœur le PVCi (poly(vinyl cinnamate)) qui a un indice de réfraction de 1,582 à 1500 nm ;
- et pour la gaine le PMATRIFE (poly(2,2,2 methacrylate de trifluoroéthyle) ayant un indice de 1,409 à 1550 nm ;

ce qui correspond à une variation d'indice entre le cœur et la gaine supérieure à 0,1. Le but est alors de maîtriser la fabrication de ces structures les plus miniaturisées possibles et d'exploiter des applications telles que des filtres accordables (ex. projet ANR Selectaccess) et des effets non linéaires pour le traitement tout optique du signal. La Figure 1-a comporte un wafer de 3 pouces comprenant des micro-anneaux de 90 à 240  $\mu\text{m}$  de rayon (contraste d'indice de réfraction de 0,08 à 0,15 à 1550 nm) pour lequel nous maîtrisons des gaps de couplage submicroniques, allant jusqu'à 0,5  $\mu\text{m}$  par photolithographie UV (0,6  $\mu\text{m}$  pour l'exemple ici présenté et correspondant à une largeur de guide de 1,5  $\mu\text{m}$ ). Les taux d'extinction atteignent 20 à 30 dB (Fig. 1-b) pour le port d'extraction (Drop) [6].

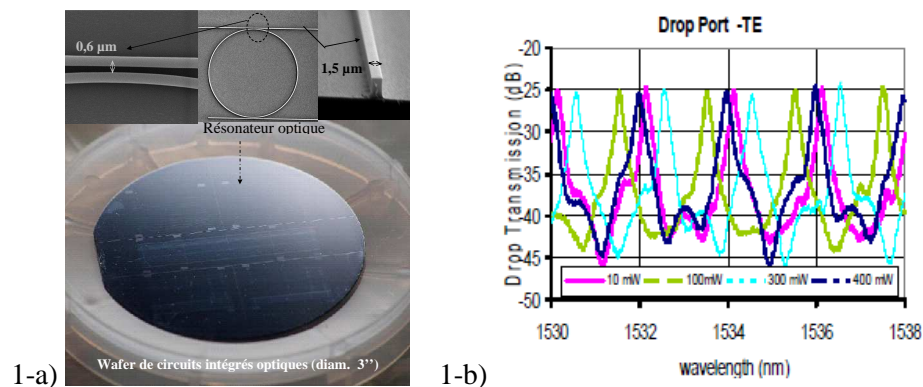


Fig. 1 : - a) Wafer de guides et anneaux en polymères sur silicium ; - b) Exemple de réponse expérimentale du port d'extraction (Drop) de micro-résonateurs polymères à différentes températures.

### CONCLUSION

Le laboratoire Foton avec sa plate-forme d'optique intégrée travaille à démontrer certaines spécificités intéressantes pour le traitement du signal ou pour les capteurs. En optique intégrée, les travaux visent à approfondir des fonctions à base de micro-résonateurs passifs et actifs, des effets non linéaires ultra rapides intégrés et la détection de molécules biologiques avec les technologies particulières maîtrisées.

Afin de disposer de systèmes de plus en plus variés et complexes, en particulier de composants de base qui soient aussi petits que possible, souples d'utilisation et bon marché, la création de guides optiques polymères performants est toujours une étape incontournable pour parvenir à la fabrication de composants optiques passifs, tels que des coupleurs et diviseurs, mais aussi des filtres, commutateurs et atténuateurs variables. Tous ces composants doivent ici avoir des pertes d'insertion et des consommations d'énergie compatibles avec les spécifications standard.

### REFERENCES

- [1] C. Grivas, "Optically pumped planar waveguide lasers, Part I: Fundamentals and Fabrication techniques", *Progress in Quantum Electronics*, Vol. 35, pp. 159-239, 2011.
- [2] V. Katopodis, C. Kouloumentas, A. Konczykowska, F. Jorge, P. Groumas, Z. Zhang, A. Beretta, A. Dede, J.-Y. Dupuy, V. Nodjiadjim, G. Cangini, G. Von Büren, E. Miller, R. Dinu, N. Keil, H.-G. Bach, N. Grote, A. Vannucci, H. Avramopoulos, "Integrated Transmitter for 100 Gb/s OOK Connectivity Based on Polymer Photonics and InP-DHBT Electronics", *Conference Paper ECOC 2012, Postdeadline Session II (Th.3.B4)*, 2012.
- [3] I. Assaïd, D. Bosc, I. Hardy, "Improvements of the Poly(vinyl cinnamate) photo-response in order to induce high refractive index variation", *Journal of Physical Chemistry B*, Vol. 108, pp. 2801-2806, 2004.
- [4] I. Hardy, P. Grosso and D. Bosc, "Design and Fabrication of Mode Size Adapter in a Photosensitive Polymer Waveguide", *Photonics Technology Letters, IEEE*, Vol. 17, pp. 1028-1031, 2005.
- [5] D. Bosc, A. Maalouf, K. Messaad, H. Mahé, L. Bodiou, "Advanced analysis of optical loss factors in polymers for integrated optics circuits", *Optical Materials*, Vol. 35, pp. 1207-12, 2013.
- [6] A. Maalouf, D. Bosc, M. Gadonna, I. Hardy, "Integrated polymers (PVCi / PMATRIFE) microring resonators for low power tunable filters", *Optics Communications*, Vol. 285, pp. 4088-4091, 2012.